



Pembuatan Biodiesel Dari Ulat Jerman (*Zophobas morio* L.) Dengan Metode Transesterifikasi Langsung Menggunakan Pelarut N-Heksana Metanol

Oktaviani Cahyaningtyas^{1,a)}, Zulmanelis Darwis^{2,b)}, Darsef Darwis^{3,c)}

^{1,2,3} Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta, Jl. Pemuda No.10 Rawamangun Jakarta, Indonesia

^{b)} zulmanelis@yahoo.com

Informasi Artikel

Diterima pada tanggal

20/09/19

Direvisi pada tanggal

09/10/19

Diuupload pada tanggal

09/10/19

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui waktu reaksi optimum pembuatan biodiesel dari ulat jerman (*Zophobas morio* L.) menggunakan katalis H_2SO_4 dengan metode transesterifikasi langsung. Variasi yang dilakukan adalah waktu reaksi 8, 12, 16, dan 20 jam pada dua kondisi berbeda (perbandingan pelarut n-heksana metanol 1:2 dan 1:5). Hasil dari penelitian inimenunjukkan belum ditemukan waktu optimum pada kedua kondisi. Ditemukan kondisi produk biodiesel paling berpotensi yang telah memenuhi dua dari tiga parameter standar biodiesel yaitu pada kondisi perbandingan pelarut n-heksana metanol 1:5 dengan waktu reaksi 20 jam menghasilkan 20mL biodiesel, densitas $0,8950 \text{ g mL}^{-1}$, viskositas kinematik 12,17 cSt, dan bilangan asam 0,41 mg KOH/g sampel. Berdasarkan uji GC-MS pada biodiesel paling berpotensi didapatkan 4 jenis metil ester yaitu metil palmitat, metil palmitoleat, metil linoleat dan metil stearat.

Kata kunci: Biodiesel, metil ester, transesterifikasi langsung, ulat jerman

Abstract

The aims for this studies was to determine the optimum reaction time of biodiesel from superworm (*Zophobas morio* L.) using H_2SO_4 catalyst by direct transesterification method. Reaction times 8, 12, 16, and 20 hours in two different conditions (comparison of hexane-methanol solvents 1:2 and 1:5) were investigated. The results of this study have not yet found optimal time in both conditions. It was found that the most potential condition of biodiesel products had fulfilled two of the three standard biodiesel parameters, was the condition of the comparison of hexane-methanol 1:5 solvents with a reaction time of 20 hours producing 20 mL biodiesel, density 0.8950 g mL^{-1} , kinematic viscosity 12.17 cSt, and acid number 0.41 mg KOH/g sample. The GC-MS result showed the methyl ester from biodiesel product are contains methyl palmitate, methyl palmitoleate, methyl linoleic, and methyl stearat

Keywords: Biodiesel, direct transesterification, methyl ester, superworm

1. Pendahuluan

Solar adalah salah satu jenis bahan bakar yang dihasilkan dari proses pengolahan minyak bumi. Fraksi solar dengan titik didih 250 °C sampai 300 °C. diperoleh dari hasil destilasi minyak bumi. Solar digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel seperti mesin-mesin di pabrik. Bahan bakar fosil adalah bahan baku utama dalam pembuatan solar, tetapi upaya untuk memenuhi kebutuhan solar adalah dengan mengembangkan sumber-sumber baru dan terbarukan sedian bahan bakar fosil semakin menipis karena jumlahnya terbatas dan tidak dapat diperbarui.

Biodiesel adalah bahan bakar campuran mono alkil ester dari asam lemak rantai panjang yang berasal dari minyak nabati maupun lemak hewani. Pada umumnya biodiesel dibuat dengan bahan baku minyak nabati (kedelai [1], kelapa sawit [2], zaitun [3]) dan lemak hewan antara lain lemak ayam [4], lemak babi [5] [6], lemak angsa [6], lemak sapi [6] dan lemak larva lalat tentara hitam [7]. Bahan baku tersebut dapat menjadi alternatif untuk bahan bakar mesin diesel karena terbuat dari sumber terbarukan.

Penggunaan minyak nabati membutuhkan biaya tambahan karena bahan baku yang digunakan memiliki nilai jual untuk kebutuhan pangan (*edible*) sehingga perlu dilakukan upaya pencarian bahan baku nonpangan (*non edible*) seperti pohon jarak [8], pohon kapas [9], kemiri sunan [10], larva lalat terntara hitam [11] dan sebagainya.

Ulat jerman diketahui memiliki kandungan lemak yang cukup tinggi yaitu sebesar 42% [12]. Dengan kandungan lemak tersebut ulat jerman dapat menjadi bahan baku yang potensial dalam pembuatan biodiesel. Selain itu, siklus hidup ulat jerman yang terbentuk dari larva kumbang hitam (*Zophobas morio*) cukup cepat dan tidak membutuhkan biaya yang tinggi [13]. Oleh karena itu ulat jerman dapat dijadikan bahan baku untuk pembuatan biodiesel karena mudah didapatkan dan harganya yang murah.

Pada umumnya untuk menghasilkan biodiesel membutuhkan dua hingga tiga tahapan reaksi yaitu isolasi lemak dan transesterifikasi. Sedangkan pada bahan baku yang memiliki bilangan asam tinggi (diatas 0,5%) diperlukan satu tahap reaksi yaitu reaksi penurunan bilangan asam yaitu praesterifikasi. Proses pembuatan biodiesel baik dua maupun tiga tahap memerlukan biaya, waktu dan energi yang cukup tinggi. Transesterifikasi langsung (*in situ*) dapat menjadi salah satu solusi untuk mengatasi permasalahan tersebut. Transesterifikasi langsung menggabungkan ketiga tahap reaksi, yaitu isolasi lemak, esterifikasi dengan katalis asam dan transesterifikasi dengan katalis alkali menjadi satu langkah. Hal ini akan dapat menghemat waktu, biaya, serta energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan biodiesel. Pada proses transesterifikasi, metanol berfungsi sebagai pereaksi sekaligus pelarut asam lemak. Beberapa penelitian menunjukkan penggunaan metanol saja sebagai pelarut, kurang efektif dengan metode transesterifikasi langsung. Pada transesterifikasi langsung, bahan baku yang digunakan diletakan pada thimble soklet sehingga asam lemak yang terisolasi langsung bereaksi dengan metanol menghasilkan biodiesel tanpa tumbukan yang efektif. Hal ini mengakibatkan proses yang lebih lama karena asam lemak masih berada dalam bahan baku dan terisolasi seadanya. Oleh karena itu, dibutuhkan penyesuaian agar asam lemak dari bahan baku dapat terisolasi secara sempurna. Salah satu yang dapat dilakukan adalah menyamakan sifat kepolaran antara asam lemak dengan pelarut yaitu menambahkan pelarut lain yang sifatnya lebih non polar dibandingkan metanol. Pelarut tambahan yang sifatnya lebih non polar contohnya benzena, toluena, dietil eter, kloroform, etil asetat dan juga n-heksana [7].

Berdasarkan kajian diatas pada penelitian ini akan dilakukan pembuatan biodiesel dari ulat jerman (*Zophobas morio L.*) dengan metode transesterifikasi langsung menggunakan pelarut n-heksana metanol. Penelitian yang akan dilakukan ini mengembangkan produksi biodiesel dari bahan baku ulat jerman dengan metode Transesterifikasi langsung (*in situ*) dengan menentukan waktu optimumnya. Transesterifikasi langsung adalah metode produksi biodiesel yang menggabungkan metode 3 tahap (ekstraksi minyak, esterifikasi, dan transesterifikasi) menjadi satu langkah sehingga produksi biodiesel dapat menjadi lebih efisien. Biodiesel produk dibandingkan dengan standar biodiesel yang telah diatur oleh SNI yang ditunjukkan pada Tabel 1 [5]

TABEL 1. Karakteristik Biodiesel Berdasarkan SNI

No	Karakteristik	Satuan	Nilai
1	Angka Setana		Min. 51
2	Massa Jenis	gr/mL	0,850-0,890
3	Viskositas Kinematik (40°C)	mm ² /s	2,3-6,0
4	Titik nyala	°C	Minimal 100
5	Titik Kabut	°C	Maksimal 18
6	Kandungan Air	% volume	Maksimal 0,05
7	Gliserol Bebas	% massa	Maksimal 0,02
8	Gliserol Total	% massa	Maksimal 0,24
9	Bilangan asam	mg KOH/gr	Maksimal 0,50

2. Metodologi Penelitian

2.1 Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini digunakan alat soklet, sentrifugator, buret, alat, kertas saring, blender, corong pisah, termometer, *evaporator rotary*, *homogenizer*, piknometer, viskometer *otswald* dan GC-MS. Ulat jerman didapatkan dari peternak ulat jerman di Cimanggis, Depok dan digunakan metanol, n-heksana, H₂SO₄ pekat (97-99%), aqua DM, dietil eter, KOH dan H₂C₂O₄.

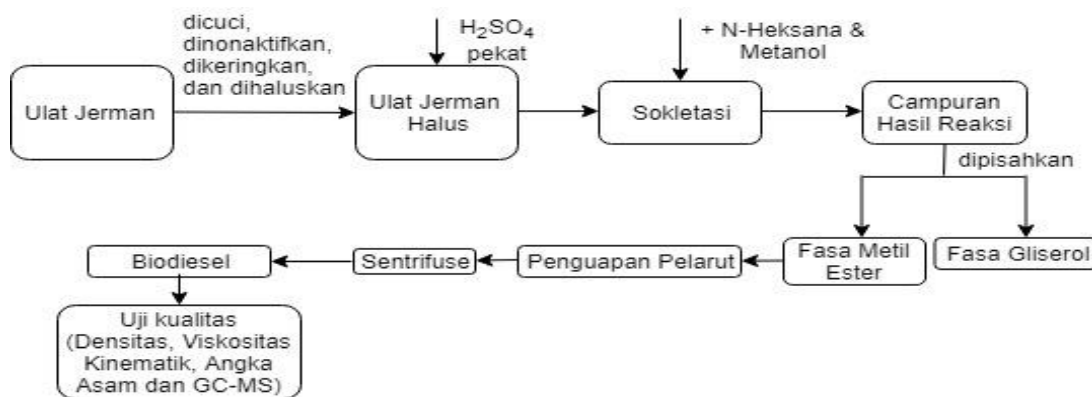
2.2 Tahap Pendahuluan

Sebanyak 1 kg ulat jerman dicuci dengan aqua DM. Kemudian dinonaktifkan, dikeringkan selama 3 jam pada suhu 105°C, dan dihaluskan. Selanjutnya 100 g sampel diimpregnasi dengan asam sulfat 20% dari berat sampel. Kemudian ditambahkan 200 mL aqua DM kemudian diaduk selama 3 jam pada suhu 70°C dan dilanjutkan dengan pengeringan dalam oven pada 105 °C selama 24 jam.

2.3 Proses Transesterifikasi Langsung

Sebanyak 100 g sampel yang telah diimpregnasi dibungkus dengan kertas saring berbentuk silinder yang ukurannya disesuaikan dengan tabung soklet. Sokletasi dilakukan dengan pelarut campuran heksana metanol dengan berbagai komposisi, dan dengan berbagai variasi waktu (8, 12, 16 dan 20 jam). Setelah proses transesterifikasi selesai, campuran hasil reaksi (metanol berlebih, n-heksana berlebih, gliserol, dan biodiesel ulat jerman) disaring dengan kertas saring, filtratnya dicuci dengan 20 mL aqua DM panas (80 °C) sebanyak 3 kali hingga air pencuci bening. Kemudian diekstrak dengan 20 mL dietil eter menggunakan corong pisah dikocok berkali-kali kemudian didiamkan hingga terbentuk dua lapisan. Lapisan bawah yang merupakan gliserol dikeluarkan.

Lapisan atas dipanaskan dalam oven pada suhu 40 °C untuk menghilangkan kandungan dietil eter dan n-heksana. Selanjutnya, sampel disentrifugasi dengan 5000 rpm selama 30 menit untuk memisahkan biodiesel dari kotoran yang tersisa. Kemudian ditentukan viskositas kinematik, densitas dan bilangan asam dengan metode AOAC969.17 serta dilakukan karakterisasi dengan GC-MS untuk mengetahui kandungan metil esternya.



GAMBAR 1. Bagan Alir Produksi Biodiesel Dari Ulat Jerman Dengan Metode Transesterifikasi Langsung

3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini diawali dengan mengekstraksi minyak ulat jerman yang akan digunakan sebagai parameter pembandingan keberhasilan reaksi esterifikasi dan transesterifikasi yang akan dilakukan. Dari 100 g ulat Jerman, dihasilkan 55 mL biodiesel, artinya rendemen yang dihasilkan 55%. Hasil ini melebihi referensi yang ada dimana rendemen minyak ulat Jerman sebesar 42% [12]. Perbedaan tersebut dapat terjadi karena sumber ulat Jerman yang digunakan dalam penelitian ini berbeda dari referensi.

TABEL 2. Karakteristik Minyak Ulat Jerman

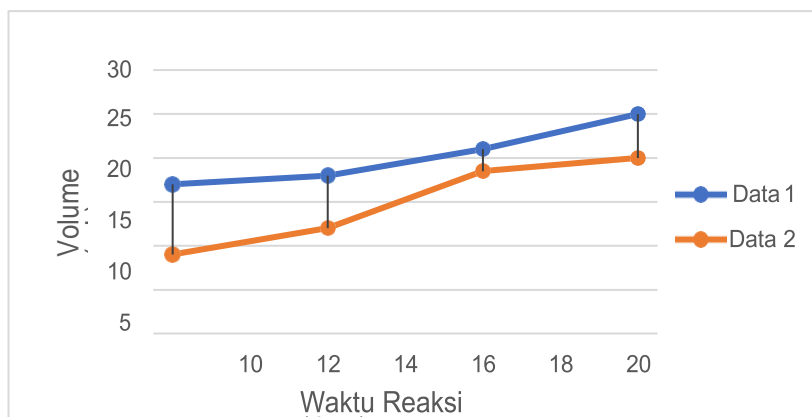
Karakteristik	Nilai
Densitas (40 °C)	0,9212 g mL ⁻¹
Viskositas Kinematik (40 °C)	19,393 cSt
Bilangan Asam	6,53 mg KOH/g minyak

Bilangan asam minyak kasar ulat jerman yang didapatkan masih cukup tinggi sehingga perlu dilakukan proses esterifikasi. Nilai viskositas kinematik dan densitas minyak kasar ulat jerman juga masih cukup tinggi sehingga perlu dilakukan konversi trigliserida dengan proses transesterifikasi. Dilihat dari bilangan asam yang cukup tinggi (lebih dari 5,0 mg KOH / g sampel) proses transesterifikasi tidak dapat menggunakan katalis basa. Penggunaan katalis basa pada bahan baku yang memiliki bilangan asam yang tinggi dapat mengakibatkan reaksi penyabunan, sehingga susah dipisahkan dari produk. Oleh karena itu, digunakan H₂SO₄ sebagai katalis dalam penelitian ini. Proses transesterifikasi langsung diharapkan dapat menurunkan nilai densitas, viskositas dan angka asam agar sesuai dengan standar nasional biodiesel.

TABEL 5 Pengaruh pelarut dan waktu terhadap volume biodiesel

Sampel	Waktu reaksi	Volume (mL)
1	8 jam	17
	12 jam	18
	16 jam	21
	20 jam	25
2	8 jam	9
	12 jam	12
	16 jam	18,5
	20 jam	20

Biodiesel dihasilkan dari 100 g ulat jerman dengan variasi waktu reaksi 8 jam, 12 jam, 16 jam, dan 20 jam dengan dua kondisi berbeda yaitu sampel 1 untuk perbandingan pelarut n-heksana:metanol 1:2 dan sampel 2 untuk perbandingan pelarut n-heksana:metanol sebesar 1:5. Volume biodiesel yang dihasilkan pada kedua sampel ditunjukkan pada Tabel 5.



GAMBAR 7. Pengaruh pelarut dan waktu terhadap volume biodiesel

Volume biodiesel yang dihasilkan dari ulat jerman menggunakan metode transesterifikasi langsung ditunjukkan pada Tabel 5 dan Gambar 7. Dari data dan gambar menunjukkan bahwa semakin lama waktu reaksi, semakin banyak volume biodiesel yang dihasilkan. Hal ini disebabkan semakin lama waktu reaksi maka semakin banyak tumbukan antar zat. Sehingga kemungkinan kontak antar zat semakin banyak dan menghasilkan konversi yang lebih besar. Volume biodiesel tersebut belum dapat dipastikan keseluruhannya adalah biodiesel, karena sesuai dengan sifatnya masih tercampur dengan asam lemak bebas yang belum terkonversi menjadi biodiesel. Maka dari itu, untuk menentukan waktu optimum didasarkan oleh sifat fisik biodiesel. Pada penelitian ini diperoleh rendemen paling besar pada waktu reaksi 20 jam pada kedua kondisi sebesar 25 mL (22,35 g) dan 20 mL (17,9 g).

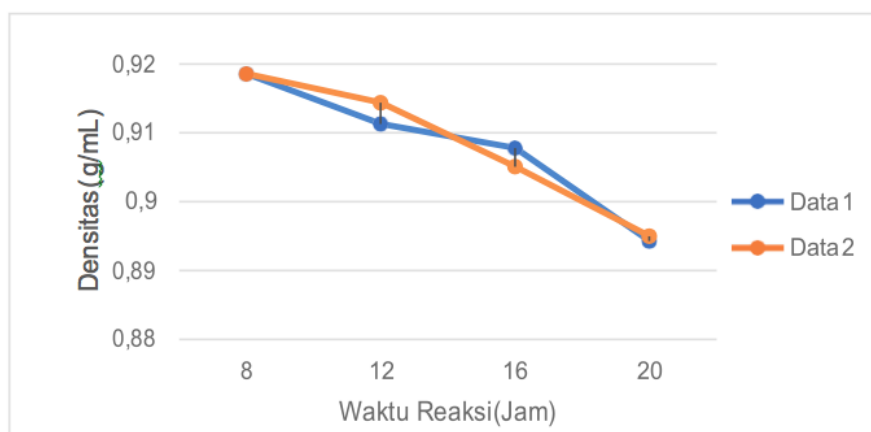
3.1 Karakterisasi Produk Biodiesel

Karakterisasi produk biodiesel dilakukan dengan uji densitas, viskositas kinematik dan bilangan asam terhadap biodiesel yang dihasilkan dengan menggunakan metode AOAC 969.17. Uji ini dilakukan untuk membuktikan apakah proses transesterifikasi langsung dapat menurunkan nilai densitas minyak kasar. Hasil karakterisasi ditunjukkan pada Tabel 6.

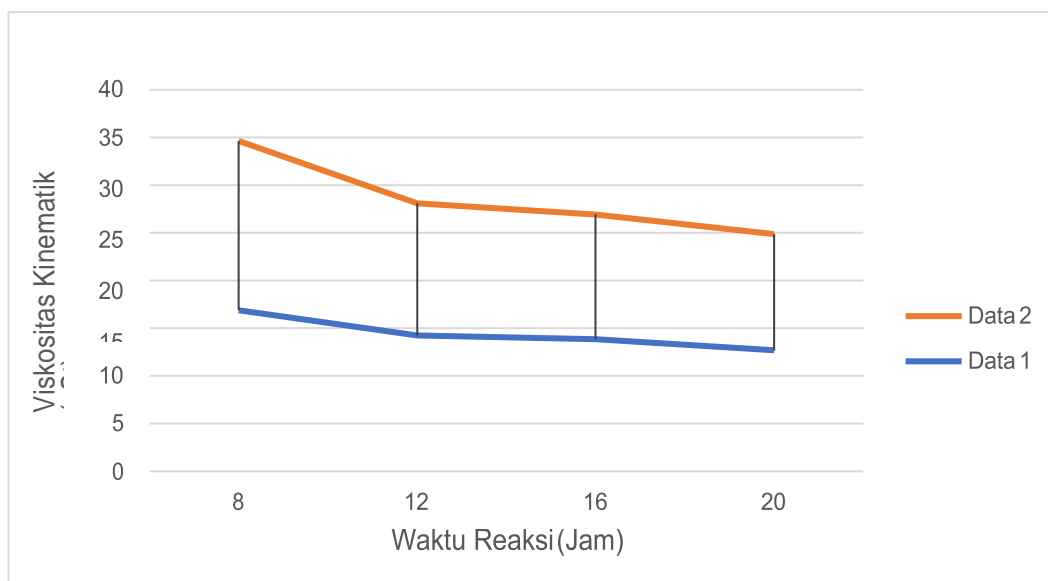
Berdasarkan Tabel 6 dapat dilihat bahwa terjadi penurunan densitas pada biodiesel yang dihasilkan dibandingkan dengan minyak kasarnya. Selanjutnya berdasarkan Gambar 8 dapat dilihat semakin lama waktu reaksi maka akan dihasilkan nilai densitas yang semakin kecil. Hal ini disebabkan semakin lama waktu reaksi, semakin banyak kemungkinan kontak antar zat sehingga trigliserida dapat terkonversi lebih banyak dan menurunkan densitas produk biodiesel. Namun, hanya perbandingan n-heksana:metanol 1:2 dan 1:5 pada waktu reaksi 20 jam yang densitasnya memenuhi standar biodiesel (Tabel 1) yaitu sebesar 0,8943 dan 0,8950 g mL⁻¹.

TABEL 6. Karakteristik Minyak Kasar dengan Produk Biodiesel

Karakteristik Perlakuan		Densitas (g mL ⁻¹)	Viskositas kinematik (cSt)	Bilangan asam
Perlarut	Waktu reaksi			
n-heksana : metanol 1:2	8 jam	0,9186	16,87	1,47
	12 jam	0,9113	14,24	1,19
	16 jam	0,9075	13,82	0,78
	20 jam	0,8943	12,68	0,55
n-heksana : metanol 1:2	8 jam	0,9186	17,76	1,10
	12 jam	0,9143	13,85	0,82
	16 jam	0,9051	13,09	0,59
	20 jam	0,8950	12,17	0,41
Minyak mentah		0,9212	19,39	6,53

**GAMBAR 8.** Pengaruh waktu reaksi terhadap densitas biodiesel

Viskositas kinematik pada biodiesel dapat dilihat pada Gambar 9. Berdasarkan hasil penelitian telah terjadi penurunan viskositas kinematik yang cukup besar seiring lamanya waktu reaksi. Semakin lama waktu reaksi, semakin banyak kemungkinan kontak antar zat sehingga konversi trigliserida menjadi metil ester semakin besar. Hal ini membuktikan keberhasilan proses transesterifikasi mengkonversi trigliserida menjadi metil ester. Namun, viskositas kinematik produk biodiesel dalam penelitian ini tidak ada yang memenuhi standar biodiesel. Nilai viskositas kinematik masih di atas standar, hal ini diduga karena masih adanya gliserol yang terbawa pada fasa metil ester. Pengaruh waktu reaksi terhadap viskositas kinematiknya ditunjukkan pada Gambar 9.



GAMBAR 9. Pengaruh waktu reaksi terhadap Viskositas Kinematik Produk Biodiesel

Berdasarkan data pada Gambar 9 menunjukkan penurunan bilangan asam produk biodiesel yang cukup signifikan dibandingkan dengan bilangan asam minyak kasarnya. Hasil penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 9 menunjukkan semakin lama waktu reaksi maka semakin besar penurunan bilangan asamnya. Penurunan tersebut disebabkan semakin lama waktu reaksi maka semakin banyak kemungkinan kontak antar zat yang memungkinkan trigliserida yang terkonversi menjadi metil ester. Pada penelitian ini diperoleh satu bilangan asam yang memenuhi Standar Nasional Indonesia yaitu pada waktu reaksi 20 jam dengan perbandingan pelarut n-heksana:metanol 1:5 senilai 0,41.

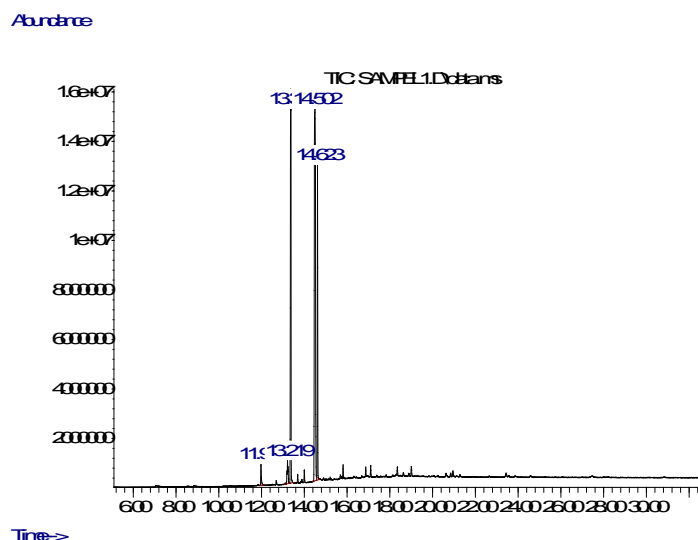
3.2 Penentuan Perbandingan Pelarut Optimum Pembuatan Biodiesel

Pada perbandingan pelarut n-heksana:metanol 1:2 relatif menghasilkan volume biodiesel lebih besar dibandingkan dengan perbandingan pelarut n-heksana:metanol 1:5. Perbedaan tersebut dikarenakan pada perbandingan 1:2 memiliki volume n-heksana lebih besar dibanding 1:5. Fungsi penggunaan n-heksana dalam penelitian ini adalah sebagai pengekstraktor minyak dari bahan baku. Semakin banyak n-heksana yang digunakan akan semakin banyak minyak yang dapat terekstraksi dari bahan baku. Oleh karena itu perbandingan pelarut n-heksana:metanol 1:2 dapat menghasilkan volume relatif lebih besar.

Pada Tabel 3 dapat dilihat bahwa perbandingan pelarut n-heksana:metanol 1:5 dengan waktu reaksi selama 20 jam dapat memenuhi dua dari tiga parameter standar biodiesel. Maka dari itu, biodiesel yang dihasilkan dari variabel tersebut dikarakterisasi dengan menggunakan GC-MS.

3.3 Penentuan Kandungan Metil Ester Produk Biodiesel

Untuk mengidentifikasi kandungan metil ester pada biodiesel digunakan alat GC-MS. Hasil dari karakterisasi ini menunjukkan data berupa kromatogram yang ditunjukkan oleh puncak-puncak jenis metil ester dan senyawa lain yang terkandung pada biodiesel, serta data MS yang menunjukkan berat molekul dan struktur molekul pada tiap puncak dan frakmentasi dari molekul yang terdeteksi. Hasil kromatogram menggunakan GC-MS ditunjukkan pada Gambar 10.



GAMBAR 10. Kromatogram GC MS biodiesel produk pada kondisi perbandingan pelarut Heksana : Metanol sebesar 1:5 pada waktu reaksi 20 jam

Pada Gambar 10 terdapat lima puncak dominan yang terdiri dari puncak pertama dengan waktu retensi 11,978, puncak kedua dengan waktu retensi 13,219, puncak ketiga dengan waktu retensi 13,376, puncak keempat dengan waktu retensi 14,502, dan terakhir dengan waktu retensi 14,624. Berdasarkan *database* dari Pusat Laboratorium Forensik, dapat diidentifikasi beberapa molekul yang memiliki kemiripan dengan standar atau bisa disebut dengan Similitas Index (SI). Hasil analisa GC-MS biodiesel ditampilkan pada Tabel 4.

TABEL 4. Komposisi Jenis-Jenis Metil Ester Pada Produk Biodiesel

Waktu Retensi (Menit)	Berat Molekul (g/mol)	Nama Molekul	SI	Komposisi %
11,978	242	asam tetradekanoat, metil ester	99	1,5520
13,219	268	9-asam heksadekenoat, metil ester (metil palmitoleat)	99	2,4840
13,376	270	asam heksadekanoat, metil ester (metil palmitat)	99	31,2900
14,502	296	9-asam oktadekenoat, metil ester	99	50,2510
14,623	298	asam oktadekanoat, metil ester (metil stearat)	99	14,4230

Berdasarkan Tabel 4 dapat diidentifikasi bahwa kelima puncak tersebut adalah metil ester yaitu asam palmitat, asam palmitoleat, asam linoleat, dan asam stearat yang terbentuk dari proses konversi trigliserida. Data yang ditampilkan pada Tabel 4 adalah persen perbandingan untuk komposisi dari kelima puncak metil ester tanpa memperhitungkan senyawa lain yang terdapat dalam produk biodiesel. Sebagai komposisi utama dalam minyak ulat jerman, asam palmitat belum terkonversi sempurna. Pada analisa tersebut didapatkan komposisi terbesar 50,25% yaitu konversi dari asam linoleat. Sedangkan komposisi metil ester yang terbentuk dari asam palmitat hanya 31,29%.

Berdasarkan analisa dengan GC-MS, ditemukan senyawa non-trigliserida, non-asam lemak, dan non metil ester pada biodiesel. Hal ini diduga karena pada proses pembuatan biodiesel digunakan bahan baku dalam bentuk padatnya. Sehingga memungkinkan non-trigliserida, non-asam lemak, dan non metil ester terbawa pada fasa metil ester hingga mempengaruhi karakteristik produk biodiesel.

4. Kesimpulan

1. Ulat jerman kurang sesuai digunakan sebagai bahan baku untuk memproduksi biodiesel dengan menggunakan metode transesterifikasi langsung. Dengan metode ini waktu reaksi tidak efisien untuk menurunkan karakteristik biodiesel dengan waktu yang cepat.
2. Karakteristik produk biodiesel yang dihasilkan dari ulat jerman dengan metode transesterifikasi langsung menggunakan pelarut dari perbandingan n-heksana metanol terbaik pada waktu reaksi 20 jam dengan perbandingan pelarut n-heksana:metanol 1:5 yaitu densitas 0,8950 g/mL, viskositas kinematik 12,17 cSt dan bilangan asam 0,41.
3. Berdasarkan hasil GC-MS didapatkan empat jenis metil ester dalam produksi biodiesel dari ulat jerman yaitu metil palmitat, metil palmitoleat, metil linoleat, dan metil stearat.

5. Ucapan Terima Kasih

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Ibu Zulmanelis Darwis dan Bapak Darsef Darwis selaku dosen pembimbing dalam penelitian ini, yang telah memberikan arahan dan bimbingan dengan ilmunya kepada peneliti sehingga penelitian ini dapat terselesaikan. Kepada Ibu Astarini Endah selaku operator GC-MS di Pusat Laboratorium Forensik Mabes POLRI yang telah membantu dalam analisa sampel serta memberikan ilmunya mengenai penggunaan software analisa data GC-MS.

6. Daftar Pustaka

- [1] Thornley P. Biodiesel from Argentinean Soy. In *Greenhouse Gas Balances of Bioenergy Systems* 2018 Jan 1 (pp. 159-168). Academic Press.
- [2] Nongbe MC, Ekou T, Ekou L, Yao KB, Le Grogne E, Felpin FX. Biodiesel production from palm oil using sulfonated graphene catalyst. *Renewable Energy*. 2017 Jun 1;106:135-41.
- [3] Lama-Muñoz A, Álvarez-Mateos P, Rodríguez-Gutiérrez G, Durán-Barrantes MM, Fernández-Bolaños J. Biodiesel production from olive-pomace oil of steam-treated alperujo. *biomass and bioenergy*. 2014 Aug 1;67:443-50.
- [4] Kirubakaran M, Selvan VA. A comprehensive review of low cost biodiesel production from waste chicken fat. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018 Feb 1;82:390-401.
- [5] Marques RV, Paz MF, Duval EH, Corrêa LB, Corrêa ÉK. *Staphylococcus xylosus* fermentation of pork fatty waste: raw material for biodiesel production. *Brazilian journal of microbiology*. 2016 Sep;47(3):675-9.
- [6] Sander A, Koščak MA, Kosir D, Milosavljević N, Vuković JP, Magić L. The influence of animal fat type and purification conditions on biodiesel quality. *Renewable energy*. 2018 Apr 1;118:752-60.
- [7] Nguyen HC, Liang SH, Li SY, Su CH, Chien CC, Chen YJ, Huang DT. Direct transesterification of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) for biodiesel production. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. 2018 Apr 1;85:165-9.
- [8] Keera ST, El Sabagh SM, Taman AR. Castor oil biodiesel production and optimization. *Egyptian journal of petroleum*. 2018 Dec 1;27(4):979-84.
- [9] Hebbar HH, Math MC, Yatish KV. Optimization and kinetic study of CaO nano-particles catalyzed biodiesel production from *Bombax ceiba* oil. *Energy*. 2018 Jan 15;143:25-34.

- [10] Aunillah A, Pranowo D. Karakteristik biodiesel kemiri sunan [*Reutealis trisperma* (Blanco) Airy Shaw] menggunakan proses transesterifikasi dua tahap. *Jurnal Tanaman Industri dan Penyegar*. 2012 Nov 30;3(3):193-200.
- [11] Zheng L, Hou Y, Li W, Yang S, Li Q, Yu Z. Biodiesel production from rice straw and restaurant waste employing black soldier fly assisted by microbes. *Energy*. 2012 Nov 1;47(1):225-9.
- [12] Manzano-Agugliaro F, Sanchez-Muros MJ, Barroso FG, Martínez-Sánchez A, Rojo S, Pérez-Bañón C. Insects for biodiesel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2012 Aug 1;16(6):3744-53.
- [13] Leung D, Yang D, Li Z, Zhao Z, Chen J, Zhu L. Biodiesel from *Zophobas morio* larva oil: process optimization and FAME characterization. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2012 Jan 5;51(2):1036-40.
- [14] Liu Y, Tu Q, Knothe G, Lu M. Direct transesterification of spent coffee grounds for biodiesel production. *Fuel*. 2017 Jul 1;199:157-61.